



EESTI MAAÜLIKOOL

Metsandus- ja maaehitusinsituut

Rene Puhke

**HARILIKU MÄNNI (*PINUS SYLVESTRIS*) JA HARILIKU
KUUSE (*PICEA ABIES*) MAAPEALSE JA MAA-ALUSE
BIOMASSI JAOTUS JÄNESEKAPSA-MUSTIKA
KASVUKOHATÜÜBIS**

**THE DISTRIBUTION OF THE ABOVE- AND BELOW-
GROUND BIOMASS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS*)
AND NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES*) IN *OXALIS*-
MYRTILLUS FOREST SITE TYPE**

Bakalaureusetöö

Metsanduse õppekava

Juhendaja: Hardo Becker, *PhD*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Rene Puhke		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Hariliku männi (<i>Pinus sylvestris</i>) ja hariliku kuuse (<i>Picea abies</i>) maapealse ja maa-aluse biomassi jaotus jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis			
Lehekülgi: 27	Jooniseid: 4	Tabeleid: 4	Lisasid: 2
Osakond / Õppetool: Metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERCS-i kood: Metsateadus (B430) Juhendaja: Hardo Becker Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2019			
<p>Töö eesmärk oli hinnata hariliku kuuse ja hariliku männi maapealse ja maa-aluse biomassi jaotust 50-aastases puistus. Maa-alust biomassi on uuritud vähem kui maapealset biomassi, kuna töö on keerulisem, aeganõudvam ja mahukam.</p> <p>Välitööd teostati Järvselja Õppe- ja Katsemetskonna kvartalil JS120. Puistu maapealse biomassi hindamiseks kasutati mudelpuude meetodit. Maa-aluse biomassi hindamiseks pesti välja nelja männi ja kahe kuuse juurestikud. Nii väli- kui ka laboritöö viidi läbi 2018. aasta sügisel ja 2019. aasta kevadel.</p> <p>Tüve osakaal moodustas männi maapealsest biomassist 87% ja kuusel 83%. Maa-aluse biomassi osakaal moodustas männil 16-19% ja kuusel 15-18% kogu biomassist. Maa-aluse ja maapealse biomassi suhtarv oli männil 0,22 ja kuusel 0,21, mis on sarnane Eestis varem saadud tulemustele. Hariliku männi regressioonivõrranditel olid determinatsioonikordajad ($R^2>0,9$) kõrged, mis näitavad tugevat seost rinnasdiameetri ja biomassi vahel. Bakalaureusetöö on valmis ühe osana projektist „Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine“.</p>			
Märksõnad: harilik kuusk, harilik mänd, maapealne biomass, maa-alune biomass			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor Thesis	
Author: Rene Puhke		Specialty: Forestry	
Title: The distribution of the above- and below-ground biomass of scots pine (<i>Pinus sylvestris</i>) and norway spruce (<i>Picea abies</i>) in <i>oxalis-myrtillus</i> forest site type			
Pages: 27	Figures: 4	Tables: 4	Appendixes: 2
Department: The Chair of Silviculture and Forest Ecology Field of research and (CERC S) code: Forest Sciences B430 Supervisors: Hardo Becker Place and date: Tartu, 2019			
<p>The aim of the thesis was to evaluate the distribution of above- and below-ground biomass of Scots pine and Norway spruce in a 50-year-old stand. Belowground biomass research has been done less than aboveground biomass, as work is more complicated and time-consuming.</p> <p>Data was collected in JS120 compartment in Järvselja- Training and Experimental Forest Centre. The model tree method was used to study the aboveground biomass of the trees. In order to evaluate two spruce and four pine below-ground biomass, the root systems were washed out. Both field- and laboratory work was carried out in the autumn and spring of 2018-2019.</p> <p>The share of the stem in the aboveground biomass formed 87% for the pine and 83% for the spruce. Below-ground biomass of the pine and spruce model trees was 16-19% and 15-18% of the total tree biomass, respectively. Belowground and above-ground biomass root to shoot ratio was 0.22 for pine and 0.21 for spruce, which are in good accordance with earlier published data in Estonia. The regression determination coefficient of the Scots pine models was high ($R^2>0.9$) which demonstrates a strong relationship between the biomass and diameter at breast height (DBH). The thesis was compiled as a part of the project „Elaboration of country specific biomass models for Estonian forests“.</p>			
Keywords: Norway spruce, Scots pine, above-ground biomass, below-ground biomass			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. TEOREETILINE ÜLEVAADE	7
1.1. Harilik kuusk.....	7
1.2. Harilik mänd	8
2. METOODIKA.....	9
2.1. Katseala kirjeldus	9
2.2. Maapealse biomassi hindamine	9
2.3. Maa-aluse biomassi hindamine	10
2.4. Biomassi seos rinnasdiameetriga.....	11
3. TULEMUSED JA ARUTELU.....	13
3.1. Maapealne biomass ja fraktsionaalne jaotus	13
3.2. Maa-alune biomass ja fraktsionaalne jaotus	15
3.3. Maapealse ja maa-aluse biomassi võrdlus	17
KOKKUVÕTE	20
VIIDATUD ALLIKAD	21
LISAD	24
Lisa 1. Välitöö fotod.....	25
Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	27

SISSEJUHATUS

Süsiniku kontsentratsiooni tõus atmosfääris on muutunud oluliseks probleemiks, mis omakorda võib esile kutsuda globaalseid kliimamuutusi (Foley *et al.* 2005). Peamiselt emiteerub kasvuhoonegaase (KHG) atmosfääri fossiilsete kütuste (kivisüsi, maagaas ja õli) põletamisel, aga ka teiste tahkete jäätmete nagu näiteks puittoodete põletamisel ning samuti teatud keemiliste reaktsioonide (tsemendi tootmine) tulemusena. Süsinikdioksiidi (CO₂) peetakse üheks olulisemaks kasvuhoonegaasiks, mille sisaldus atmosfääris on viimastel sajanditel hüppeliselt kasvanud. (EPA 2018). Metsad on olulised kliimamuutuste leevendajad ning sealhulgas mängivad ka boreaalsed metsad väga suurt rolli globaalses süsinikuringes, kus puitmesse biomassi seotud süsinik moodustub umbes 49 protsenti süsinikuvarust (Dixon *et al.* 1994). Kliimamuutus on enam tuntav just kõrgetel laiuskraadidel (>50 N), kus kasvab umbes 1,4 miljardit hektarit metsa (Houghton *et al.* 1996). Need metsad seovad pikaajaliselt oluliselt rohkem süsinikku puitmesse biomassi võrreldes troopiliste metsadega, kus on biomassi seotud süsiniku kogus samas suurusjärgus biomassi lagunemisega (Tullus 2011).

Kliimamuutuste vastu võitlemiseks ja nende leevendamiseks on vastu võetud mitmeid rahvusvahelisi kokkuleppeid, näiteks Kyoto protokoll. See dokument on valminud mõjutamaks suuremaid majandussektoreid ning sellel on oluline roll innustamaks roheettevõtlust ning kuluefektiivset süsinikuheite vähendamist. Eesti ühines eelmainitud protokolliga 3. septembril 2002. a. Kyoto protokolliga põhieesmärgiks oli alandada 2008 - 2012. a kasvuhoonegaaside heitkoguseid viie protsendi võrra võrreldes 1990. aastaga. Nende alandamise roll puudutab rohkem arenenud riike, kuna nende tööstus- ja majandustegevuse tõttu on atmosfääri sattuvate kasvuhoonegaaside emissioon suurem. (Keskkonnaministeerium 2017). LULUCF (*land use, land-use change and forestry*) sektoril on täpsed arvestused ja reeglid 2021-2030. perioodiks. Kokkulepe eesmärk on süsiniku heitkoguse sidumine, kus koguheide ja süsiniku sidumine on tasakaalus. 2010. aastal ülemaailmse metsaressursi auditi hinnangul on maailma metsadesse seotud rohkem kui 485 gigatonni (1Gt = 1 miljard tonni) süsinikku. Sellest 260 Gt on maapealsesse

biomassi seotud (53 protsenti), 37 Gt surnud puitu seotud (8 protsenti) ja 189 Gt mulda (39 protsenti) (FRA 2015). Ülemaailmse metsaala kahanemise tõttu vähenesid metsade biomassi süsinikuvarud perioodil 2011-2015 hinnanguliselt 0,22 gigatonni aastas. UNFF on valitsustevaheline protsess, mille eesmärk on edendada jätkusuutlikku ja säästvat metsade majandamist ning rohemajandust. Seda toetab metsapoliitika valitsustevaheline metsanõukogu (IPF) ja metsade valitsustevaheline asutus (IFF). (Keskkonnaministeerium 2017)

Eesti metsanduses ja metsateaduses on uuritud süsinikuringet erinevates metsaökosüsteemides (Uri *et al.* 2012, 2014, 2017; Varik *et al.* 2015; Aosaar *et al.* 2016). Vajadus erinevates süsiniku-uuringute järgi erinevates metsakooslustes tuleneb Eesti metsade heterogeensusest, kus esinevad varieeruvad mullad, kasvukohatüübid ning puuliigid. Kui maapealse biomassi uuringud on tehtud ulatuslikult, siis maa-alust biomassi on uuritud vähe tänu metoodika keerukusele ja mahukusele. Hinnanguliselt on maa-aluses biomassis umbes 2/3 seotud süsinikust (Dixon *et al.* 1994). Eestis on uuritud maa-alust biomassi lepikutes (Uri *et al.* 2002, 2009; Aosaar *et al.* 2013), arukaasikutes (Varik *et al.* 2013) ja sookaasikutes (Uri *et al.* 2017), samas kui uuringud männikute maa-alusest biomassist on Eestis puudulikud (Küllä 1997; Kurvits 1999; Karu 2005).

Töös uuriti maa-alust ja maapealset biomassi jäneskapsa-mustika kasvukohatüübis hariliku männi (*Pinus sylvestris*) ja hariliku kuuse (*Picea abies*) näitel. Majanduslikult on need okaspuud Eestis põhilised saetööstuses kasutatavad puuliigid. Metsatüüp on palumets, kus metsad on hea tootlikusega ja majanduslikult tähtsa kasvukohatüübirühmaga, mille metsadetüübi pindala Eestis on üle 0,5 miljoni ha (Lõhmus 2004). Eestis suurima kogutagavaraga puuliik on harilik mänd 174 929 000 m³, mis moodustab 31,4% metsamaa pindalast ning hariliku kuuse tagavara on 95 524 000 m³, mis moodustab metsamaa pindalast 18,8% (Aastaraamat Mets 2017).

Töö eesmärgiks oli hinnata männi ja kuuse maapealset ja maa-alust biomassi jäneskapsa-mustika kasvukohatüübis, koostada mudel rinnasdiameetri ja biomassi vahelisest seosest. Samas anda ka hinnangud maapealse ja maa-aluse biomassi jaotusest ning tuua välja nende omavaheline suhe (*root shoot ratio*). Bakalaureusetöö on osa KAUR'i poolt toetatud projektist „Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine“.

1. TEOREETILINE ÜLEVAADE

1.1. Harilik kuusk

Harilik kuusk (*Picea abies*) on Eestis levinud puuliik 18% ulatuses. Harilik kuusk kasvab Euroopas umbes 20-50 m kõrguseks. Eesti kõrgeim kuusk on 48,6m Põlvamaal Veriora vallas. Harilik kuusk suudab hästi kasvada erinevatel muldadel, välja arvatud läbikuivavad ja ka seisva veega mullad. Ankurjuur tungib sügavale vaid hea drenaažiga muldadel. Hariliku kuuse juurestik on pindmine, juure peamass asub 0,5-0,6 meetri sügavusel pinnast, mis tõttu on kuusk põuakartlik ja kannatab tormi heite all. (Laas 2004)

Tüve koor on värvuselt hele- või tumepruunikas, tüve alumine osa vananedes lõheneb ja tekib soomusjas korp. Võrsed on hele-punakaspruunid, hõrdalt lühikarvalised või paljad. Pungad pruunid vaiguta ja teritunud tipuga. Okka pikkus on kuni 2,5 cm läikivad, tumerohelised, mille läbimõõt on 0,1-0,2cm. Harilik kuusk õitseb mai keskpaigas, harvem ka juuni algul. Emasõisikud asuvad eelmise aasta võrse tipul, isasõisikud asuvad aga okaste vahel. Valmiv käbi on rippuv 10-16 cm pikk helepruun, noorelt aga tumevioletne või heleroheline. Seemned valmivad oktoobris-novembris ja varisevad alles järgmise kevade märtsist. Seemnetiib on seemnest ligi kolm korda pikem, mille abil levib seemne tuulega kaugemale. Areaal on harilikul kuusel üsna lai, mis asub Skandinaaviast kuni Venemaa Uurali mäestikuni, siberi kuuse ülemineku esinemine on ebaselge põhjusel, et harilik kuusk ja siberi kuusk annavad hübriid vorme. Harilik kuusk talub hästi talvel miinuskraade, kuid on tundlik hiliskülmade suhtes. Kuusk on varjugaluv puuliik, mistõttu suudab ta hästi uueneda lehtpuude ja männi varjus. Viljakandvus algab 20-30-aastaselt ja seemneaastad korduvad 4-6 aasta tagant. Juurdekasv saavutab maksimumi 15-25 aasta vanuselt ja võib elada maksimaalselt 500 aasta vanuseks. (Taimre 1989)

Harilikul kuusel on meie riigis suur majanduslik tähtsus. Puitu kasutatakse ehitus- ja mööblipuiduna, paberi- ja küttepuiduna, samuti tselluloosi ja saematerjali tootmisel ning ka muusikariistade valmistamisel. (Roht 2013)

1.2. Harilik mänd

Harilik mänd (*Pinus sylvestris*) on Eestis levinum puuliik ulatusega 31%. Mänd on Eestis enim levinud Kagu-Eestis, mandri loode- ja põhjaosas ning läänesaartel. Sada meetrit eemal rekord kuusest kasvab maailma kõrgeim harilik mänd 46,6m. Juurestik on enamasti sügaval ja levib horisontaal- ja vetikaalsuunas. (Laas 2004)

Harilikul männil on palju kahjustajaid – männikärsakas, männimähkur, latipihklane, säsiürask, männivaablane, suur-kirjurähn, hiir, metskits, põder, lumi; seenhaigusest lumepudetõbi, männi pudetõbi, okaspuu-võrsevähk, männi-pigirooste, männi-koorepõletik, männi-juurepess, männitaelik (Roht 2013). Tüvi on noorel puul oranžikaspruun ja kestendav, vanemal puul tekib tüve alaosas paks ja lõhenenud hallikas korp, mis tõuseb iga aastaga kõrgemale. Noored võrsed on paljad ja rohekad, hiljem muutuvad pruunikamaks. Okkad asetsevad kahekaupa ja on 4 - 7 cm pikad, teravatipulised, nõrgalt keerdunud, karedate servadega. Pungad piklikmunajad punakaspruunid ja vaiguga kaetud. Mänd õitseb juuni algul ja seeme valmib umbes 18 kuud pärast tollemist ja varisemine algab aprillis. Seemned on kuskil 0,3 - 0,4 cm pikad, halli või mustja värvusega ja heledama tiivaga. Harilik mänd on valguslembeline puuliik ja kasvab nii kuivadel kui ka niisketel muldadel. Eelistab kergeid liivsavi- ja saviliivmuldi. Sügavatel liivsavimuldadel moodustab mänd tugeva sügavale ulatuva sammasjuurega ja rohkete külguurtega juurestiku. Kehvematel kuivadel liivsavimuldadel on peajuur lühike ja juurestik on pinnalähedane. Pindmine juurestik areneb männil ka rabas, kus mänd võib kannatada tormiheite all. Kuivematel kasvukohtadel esineb tugevate tormide korral ainult tormimurdu. Viljakandvus algab harilikul männil 25 - 35 aasta vanuselt ja seemne aastad iga 3-4 aasta tagant. Kõrguse maksimaalne kasv on 10 - 25 aasta vanuselt, kuid 70 -80 aastastel kõrguse juurdekasv tundub langeda. Harilik mänd võib kasvada kuni 400 aasta vanuseks. Kehvadel liivmuldadel, loodaladel ja rabades kasvab harilik mänd puhtpuistuna, viljakatel kasvukohtadel aga segapuistuna, enamasti koos kuusega. Männi puidul on head tehnilised omadused, mille tõttu kasutatakse ehitus tegevustes, raudteeliipriteks, paberi- ja küttepuiduna. (Taimre 1989)

2. METOODIKA

2.1. Katseala kirjeldus

Uurimistöö põhineb andmetel, mis on kogutud Järvelja Õppe- ja Katsemetskonna kvartalil JS120. Katseala rajati eraldi 10 ja 13 piirile, mille pindala on ca. 0,1 ha. Katseala peapuuliigiks on harilik mänd 80% ning kaaspuuliigiks on harilik kuusk 20%, puistu keskmine vanus on 50 aastat ja keskmine kõrgus puistul on 24 meetrit. Boniteet ehk kasvukohaheadus on puistul Ia. Järelkasvu on näha kuusel valgusküllasemate kohtadel. Põõsarinne puudub, puhmarinde moodustavad mustikas, pohl, leseleht, kattedkold. Kasvukohatüüp on jäneskapsa-mustika (Jm), kus esineb gleistunud leedemullad (Lõhmus 2004).

Tabel 1. Mudelpuude parameetrid, PL – puuliik (KU- harilik kuusk ja MA- harilik mänd), a – vanus, H – kõrgus (m), $D_{1,3}$ – rinnasdiameeter (cm), EVA – Elusvõra algus (m), EVP – elusvõra pikkus (m).

PL	a	H	$D_{1,3}$	EVA	EVP
KU1	50	24.4	22.2	12,2	12,2
KU2	48	21.9	19.3	10,9	11,0
MA1	51	22.7	24.2	16,0	6,7
MA2	53	25.6	31.8	16,3	9,3
MA3	50	25.2	22.7	17,0	8,2
MA4	49	24.2	29.0	16,7	7,5

2.2. Maapealse biomassi hindamine

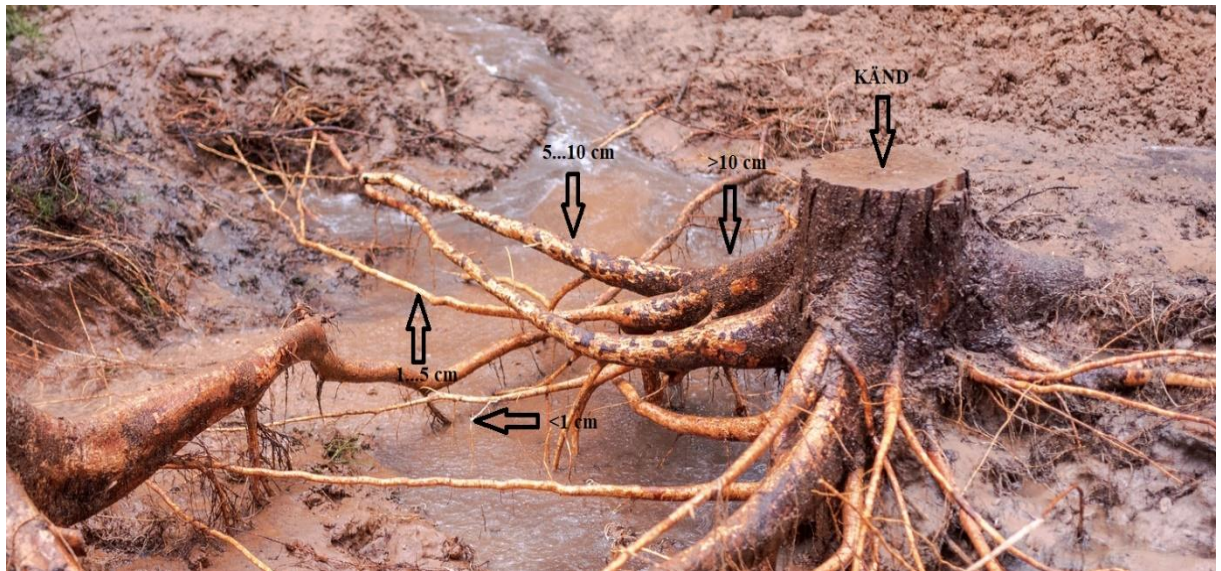
Autor osales väli- ja laboritöödel, mis viidi läbi 2018. aasta sügisel, kui vegetatsiooniperiood oli lõppenud ja puude biomass saavutanud aastase maksimumi ning 2019. aasta kevadel enne vegetatsiooniperioodi algust. Puistu biomassi hindamiseks kasutati laialt levinud mudelpuude meetodit (Bormann, Gordon 1984; Lõhmus *et al.* 1996; Uri *et al.* 2012; Silm 2018; Buht 2017).

Uurimisalal valiti välja kuus mudelpuud, mis kirjeldasid keskmisi puid katseala (tabel 1). Peale mudelpuude langetamist mõõdeti puude tüve pikkus, elusvõra algus ja elusvõra pikkus. Elusvõra alguseks loetakse kohta, kus on esimesed elus okkad oksal. Seejärel jagati tüvi ja võra sektsioonideks, mis kaaluti metsas kohapeal. Võra jagati kõikidel puudel nelja sektsiooni, kus igast sektsioonist võeti laborisse kaasa sektsiooni iseloomustav mudeloks. Tüve puhul võeti laborisse analüüsikettad puidu ja koore osakaalu leidmiseks järgnevatelt kõrgustelt: kännult, 1,3m kõrguselt, tüve keskelt, elusvõra algusest ning võra keskelt. Iga kaasa võetud analüüsiketta puhul eemaldati koor ja puit ning kaaluti need eraldi koore ja puidu osakaalu leidmiseks. Laboris eemaldati mudeloksalt okkad, et leida okka ja okste mass eraldi. Tüvelt ja võrast võetud analüüsiketastelt ning võrast võetud iga sektsiooni mudeloksast ning okastest tehti alamproovid, mis kuivatati +70°C juures kuni püsiva kaalu saavutamiseni, mida kontrolliti korduvkaalumisega. Peale kuivatamist proovid kaaluti uuesti, et leida kuivmass. Kõik töös kirjeldatud tulemused on antud kuivmassidena ning on kaalutud 0,01g täpsusega.

Tüvemassi teisendamiseks mahuühikutesse kasutati varasemalt leitud männi (470 kg m^{-3}) ja kuuse (420 kg m^{-3}) absoluutkuiva puidu tihedust (Saarman 2006). Aastane tüvemahu juurdekasv (*MAI – mean annual increment*) kalkuleeriti keskmine tüvemaht jagatud prooviala keskmine vanus.

2.3. Maa-aluse biomassi hindamine

Maa-aluse biomassi hindamiseks kasutati mudelkändude meetodit, mille käigus pesti surveveega iga puu juurestik mullast välja. Leidmaks vastava puu juurestikku olid eelnevalt kõik kännud ja puud nummerdatud. Välja pestud juurestik toimetati laborisse ja fraksioneeriti. Laboris jaotati juurestik fraktsioonidesse järgnevalt: $d < 1 \text{ cm}$, $1 < d < 5 \text{ cm}$, $5 < d < 10 \text{ cm}$, $d > 10 \text{ cm}$ ning känd (joonis 1.). Fraktsioonid kaaluti 0,01g täpsusega ning võeti alamproov kuivaine sisalduse määramiseks. Proove kuivatati kuivatuskapis +70 °C juures ca. nädal aega püsiva kaalu saavutamiseni. Peale kuivatust kaaluti proovid uuesti, et leida kuivmass. Maapealse ja maa-aluse biomassi kuivmassi arvutamiseks kasutati toormassi ja kuivmassi suhet, mis omakorda korrutati fraktsioonide toormassiga.



Joonis 1. Juurestiku fraktsioonaalne jaotus

2.4. Biomassi seos rinnasdiameetriga

Töös kasutati biomassi sõltuvuse hindamiseks rinnasdiameetrist mändide andmeid, kuna kuuskede puhul oleks jäänud valim liialt väikseks. Suurema valimi saavutamiseks on lisatud valimi hulka ka andmeid D. Silma magistritööst: mustika kasvukohatüüp, kus mändide keskmine vanus oli 35 aastat, $n=3$. Biomassi ja rinnasdiameetri suhte hindamiseks koostati regresioonvõrrand seitsme mudelpuu ja mudelkännu andmete põhjal.

Kasutati allomeetrilist seost üldkujul (1)

$$y = ax^b$$

(1)

y – puu maapealse, maa-aluse osa biomass kg;

x – puu rinnasdiameeter cm;

a ja b – võrrandi parameetrid.

Rinnasdiameetri ja puu tüvemassi maapealse osa biomassi sõltuvust kirjeldab antud regressioonvõrrand kõige paremini (kõigil juhtudel $r > 0,9$). Allomeetrilist seost (1) rakendati samuti kogu biomassi, maapealse ja maa-aluse biomassi hindamiseks.

Maapealse ja maa-aluse omavaheline proportsioon (*root to shoot ratio*) saadi jagades mudelpuu maa-alune kuivmass (juurestik) maapealse (tüvi, oksad) kuivmassiga (Lõhmus *et al.* 1991; Uri *et al.* 2002; Silm 2018). Tüvemassi teisendamiseks mahuühikutesse kasutati varasemalt leitud männi (470 kg m^{-3}) ja kuuse (420 kg m^{-3}) absoluutkuiva puidu tihedust (Saarman 2006). Aastane tüvemahu juurdekasv (*MAI – mean annual increment*) kalkuleeriti keskmine tüvemaht jagatud prooviala keskmine vanus.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1. Maapealne biomass ja fraktsionaalne jaotus

Maapealse biomassi jaotus fraktsioonides oli kuuse ja männi puhul sarnane. Kõige suurem osa maapealsest biomassist moodustas tüvi, olles männi puhul keskmiselt 87% ning kuuse puhul keskmiselt 83% (joonis 2). Kesk-Euroopas on männipuistu tüvemassi osakaaluks saadud 74% maapealsest biomassist (Xiao *et al.* 2003), kus antud tüvemassi osakaal oli töös saadud tulemustest väiksem, sest männid olid kehvemini laasunud ja okste protsent oli võrreldes antud tulemustega suurem. On leitud, et tüvemassi osakaal kogu biomassist männikutes suureneb vastavalt vanusele olles vastavalt noorendikus ligi 66%, latiealises metsas ligi 69% ja täisealises metsas ligi 83% (Helmisaari *et al.* 2002). Antud töös leitud tulemused tüvemassi jaotusest 50-aastases puistus on sarnased eelnevalt viidatud täisealise puistuga, millest võib järeldada puistu head laasumist ja väiksemat oksade osakaalu. Varasemalt Eestis uuritud kuuse-kase segapuistus on leitud, et kuuse maapealse tüvemassi suurenemine vanusega on rohkem 30%, kus näiteks 60-aastases puistus moodustas kuuse puhul tüvemass juba 87% (Valdner 2016). Samas on leitud ka oluliselt vanemas kuusepuistus (130 a) tüvemassi osakaal 70% kogu biomassist (Liu, Westman 2009).

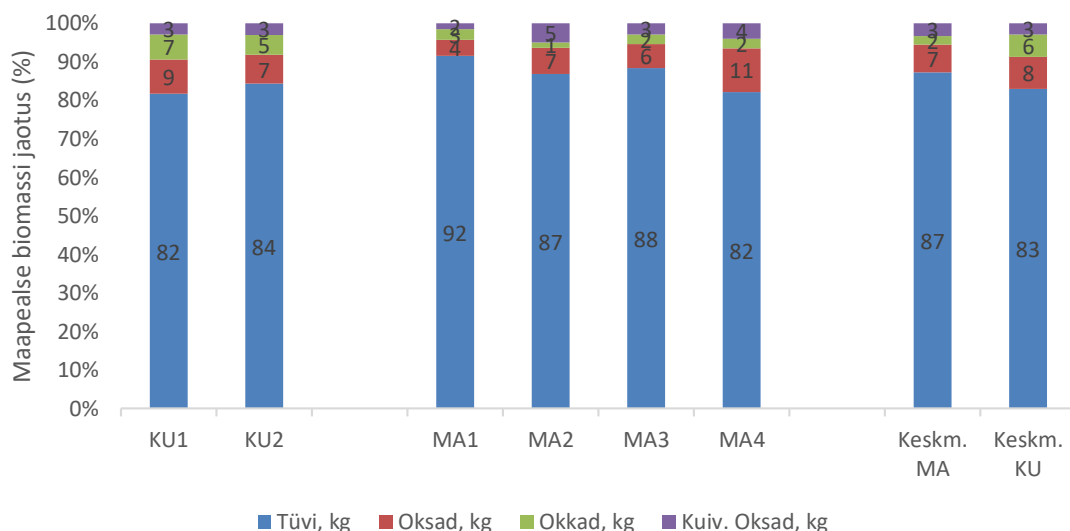
Koor moodustas männi tüve osakaalust 7% ning kuuse tüve osakaalust 8%. Kõige väiksema osakaaluga maapealsest biomassist oli okaste mass mõlema puuliigi puhul, moodustades mändide maapealses biomassis keskmiselt ligi 2% ning kuuskede biomassis keskmiselt ligi 6%. Vaadates okste massi osakaalu mõlema puuliigi puhul jäi see samasse suurusjärku olles mõlemal juhul 8-7% olgugi, et elusvõra pikkus erines männi ja kuuse puhul ligi 5m (tabel 1). Suurima maapealse biomassiga oli antud juhul mänd (MA4, tabel 2), mis ei olnud küll suurima diameetriga puu, kuid mille biomassi mõjutas oluliselt okste mass. Kui keskmine oksamass mändide puhul oli 22,5 kg, siis antud juhul oli see 42 kg. Kuuskedest suurima biomassiga puu oli KU1, mille biomass 247 kg oli siiski üle 100 kg

väiksem suurima biomassiga männist. Kasutades varasemalt leitud maapealse biomassi süsinikukontsentratsioone männi (47%, Lõhmus 2018) ja kuuse (47%, Valdner 2016) leiti antud töös ka keskmiselt seotud süsiniku hulk puuliigiti. Männi puhul oli keskmiselt maapealses biomassis seotud süsiniku hulk 137 kg ning kuuse puhul oli see ligi 90 kg.

Tabel 2. Maapealse biomassi fraktsiooni jaotus kilogrammides.

PL	Tüvi, kg	Oksad, kg	Okkad, kg	Kuiv. Oksad, kg	Kokku, kg
KU1	201	22	16	8	246
KU2	113	10	7	4	134
MA1	173	8	5	3	189
MA2	317	25	5	18	364
MA3	214	15	6	7	242
MA4	305	42	9	15	371

Eestis tehtud uuringutel mustika kasvukohatüübis 62-aastases männipuistus saadi tüve protsentuaalne jaotus 85,8% (Buht 2017) ning pohla kasvukohatüübis 65-aastases männipuistus saadi tüve osakaaluks 87% (Kurvits 1999) maapealsest biomassist, mis sarnanevad antud töös saadud tulemustega nii männi kui kuuse puhul. Kui aga võrrelda okaspuu tulemusi sookasega siis 40 aastases kaasikus saadi tüvemassi tulemuseks 87% (Kadak 2015), millest suuresti üldistades võiks järeldada, et nii männi, kase kui kuuse keaskealises puistus biomassi tüvemassi jaotus jääb ligemale 80-90%. Üldiselt sõltub maapealne tüvemass puistu tihedusest, mida tihedam on puistu seda paremini laasuvad oksad ja seda väiksem osakaal on okstel. Kui vaadelda üksikpuud avaral maastikul, siis saadud tulemus ei sarnane puistus saadud sama puuliigi tulemusega ning sealsel puul suureneb okste osakaal ja okaste mass.



Joonis 2. Hariliku männi ja hariliku kuuse mudelpuude maapealse biomass fraktsionaalne jaotus - %, Kuiv. Oksad- kuivanud oksad.

Aastane tüvemhu juurdekasv (MAI) on männil $0,010 \text{ m}^3$ aastas ja kuusel $0,007 \text{ m}^3$ aastas. Tüvemaht on keskmisel männil $0,514 \text{ m}^3$ ja keskmisel kuusel $0,365 \text{ m}^3$. Kuuse juurdekasv on madalam, sest kuused võrreldes mändidega on kasvus alla jäänud ja koosseis väiksem, mida iseloomustavad ka takseerandmed. Keskmise männikute juurdekasv erametsas on $4,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja riigimetsas $4,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Aastaraamat mets 2017). Silm (2018) magistritöös uuritud 35-aastases palumännikus oli aastane puidu tüvemassi juurdekasv $6,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, tihedusena kasutati 470 kg m^{-3} ja keskmine männi tüvemass oli 139 kg . Teisaldatuna $0,009 \text{ m}^3$ aastane juurdekasv männil. Noores metsas tüvemassi juurdekasv suureneb kuni 50-aastani, seejärel vanuse suurenedes väheneb juurdekasv (Kriguli 1971). Seetõttu võiks arvata, et töös uuritud puistus on tootlikus 50. eluea juures maksimaalne.

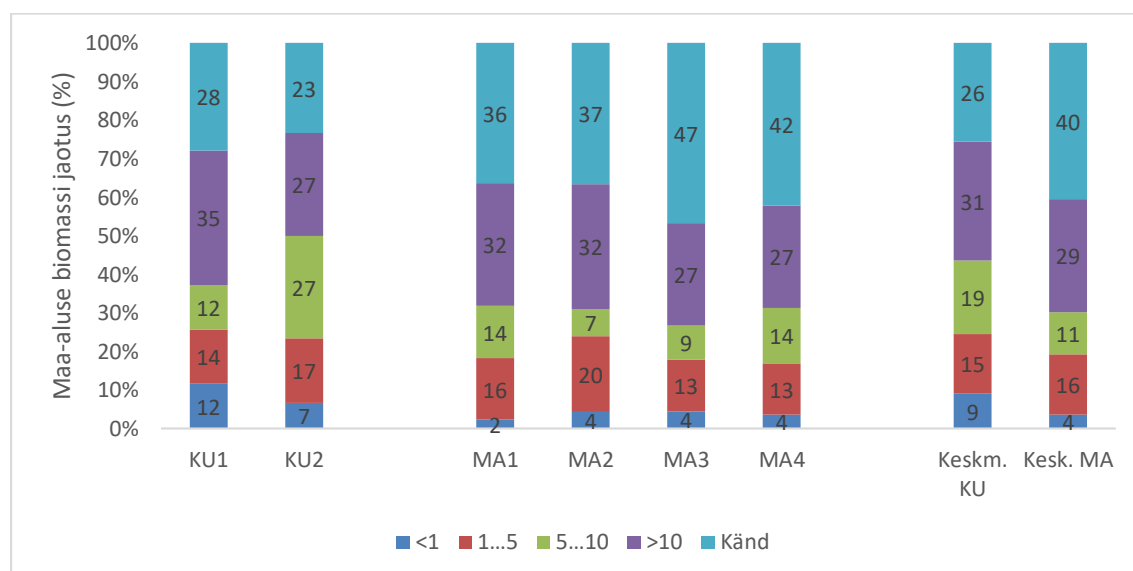
3.2. Maa-alune biomass ja fraktsionaalne jaotus

Kõige suurema osakaaluga maa-alusest biomassist oli männi puhul känd, mis moodustas 41 protsenti kogu maa-alusest biomassist (joonis 3., tabel 3.). Kui üldine tendents männi

puhul näitas, et mida väiksemaks läks juure fraktsioon, seda väiksemaks muutus ka osakaal maa-aluses biomassis, siis kuuse puhul oli jaotus ebaühtlasem. Kuuse puhul oli suurima osakaaluga maa-aluses biomassis kümnest sentimeetrist jämedamad juured (31%). Nii männi kui kuuse puhul oli juurte fraktsioon 1-5 cm sama osakaaluga, moodustades kogu maa-alusest biomassist 16 protsenti. Kuuse ja männi juurestiku fraktsioone võrreldes on suurimad erinevused kännu ja <1 läbimõõduga juurte fraktsiooni jaotuses, kus kuusel oli peenete juurte osakaal suurem, kuid männi kännu osakaal erines kuuse kännust ligikaudu 15 protsenti. Puu juurestiku funktsioonideks on transportida toitaineid, taime veega ja varuainetega varustamine, aga ka taime kinnitamine mulda (Taimre 1989), mis tõttu on ka jämedate juurte osakaal suurem.

Tabel 3. Maa-aluse biomassi fraktsiooni jaotus(kg).

Fraktsioon	KU1	KU2	MA1	MA2	MA3	MA4
<1 cm	5	2	1	3	2	3
1...5 cm	6	5	7	14	6	11
5...10 cm	5	8	6	4	4	12
>10 cm	15	8	14	23	12	22
Känd	12	7	16	26	22	34
Kokku	43	30	44	71	45	83



Joonis 3. Maa-aluse biomassi jaotumine fraktsioonidesse.

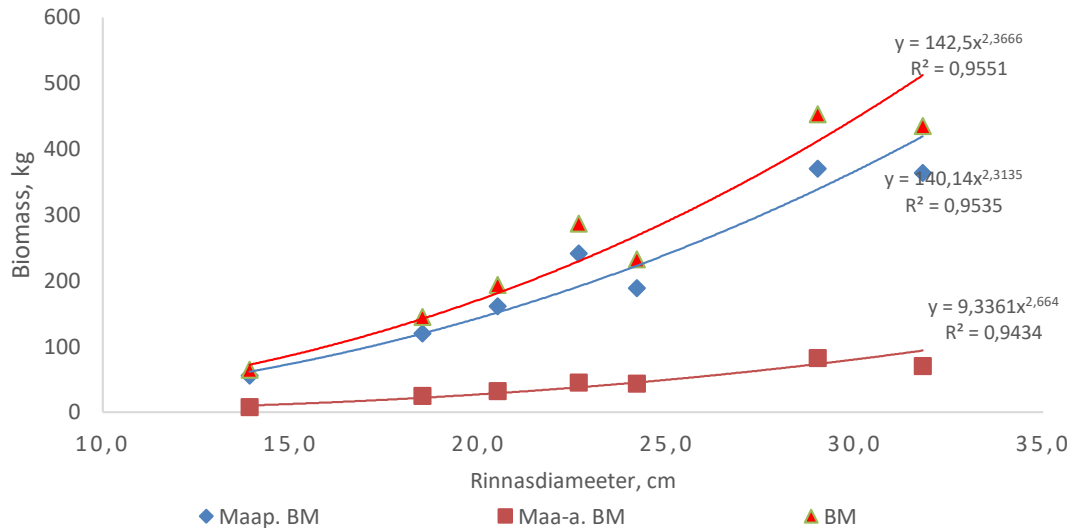
Võrreldes männi maa-alust biomassi Silm (2018) magistritöö tulemustega 35 aastases puistus on kändu (33%) ja > 10 cm (25%) läbimõõduga jaotus väikem kui antud joonisel, kus puistu vanus on 50 aastat. Tulemuse erinevus tuleb keskealise metsa kiire kasvu tõttu. Slovakkias tehtud katses on saadud kuuse diameetrist lähtuvalt maa-alune biomass $D_{1,3} = 22,2$ cm 48 kg ja $D_{1,3} = 19,3$ cm 30 kg (Konopka *et al.* 2011). Võrreldes antud töös saadud tulemusi, siis rinnasdiameetril 22,2 cm on 43 kg (KU1) ja 19,3 cm on saadud 30 kg (KU2), on tulemused sarnased. Keskmise kuuse maa-alune biomass on 37 kg, männil 61 kg (tabel 3), mis on ka vastavuses arvestades kahe keskmise puuliigi takseerandmeid antud töös.

3.3. Maapealse ja maa-aluse biomassi võrdlus

Regressioonivõrranditel olid determinatsioonikordajad (R^2) kõrged, mis näitab tugevat seost rinnasdiameetri ja biomassi vahel. Tugev seos näitab selgelt nii maapealse kui ka maa-aluse biomassi suurenemist diameetri suurenedes (joonis 4., tabel 4.). Antud tulemus oli ootuspärane ning on heas kooskõlas ka varasemalt leitud tulemustega (Külla 1997; Helmisaari *et al.* 2002; Silm 2018).

Tabel 4. Hariliku männi biomassi jaotus. Lisatud Doris Silma magistritöö tulemused (MA, D. Silm1; MA, D. Silm2; MA D. Silm3) „Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) maapealne ja maa-alune biomass ning sellesse seotud süsinikuvaru mustika kasvukohatüübis“ (Silm 2018).

PL	D _{1,3} , cm	Maap. Bm, kg	Maa-a. BM, kg	BM, kg
MA1	24.2	189	44	233
MA2	31.8	364	71	435
MA3	22.7	242	45	287
MA4	29.0	371	83	453
MA, D. Silm1	18.5	120	25	146
MA, D. Silm2	20.5	161	32	194
MA, D. Silm3	13.9	57	8	65



Joonis 4. Männi mudelpuude rinnasdiameetri ja biomassi vaheline seos. Kolm punkti on võetud Doris Silma magistritööst „Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) maaapealne ja maa-alune biomass ning sellesse seotud süsinikuvaru mustika kasvukohatüübis“ (Silm 2018).

Töös leitud maa-aluse biomassi suhe kogu biomassi jaotuses oli nii männi kui kuuse puhul sarnane, jäädes vahemikku 15-19%. Soomes tehtud teadustööl männipuistute aegreas moodustas maa-alune biomass 15-aastases 25%, 35-aastases 21% ja 100-aastases 13% kogu biomassist (Helmisaari *et al.* 2002), mis näitab, et vananedes väheneb maa-alune biomass kogu biomassist. Samuti on eelnevalt viidatud tulemused heas kooskõlas antud töös saadud tulemustega. Samas on leitud ka eelnevalt Eestis tehtud teadustööl 35-aastases mustika kasvukohatüübis moodustus maa-alune biomass 16% kogu biomassist (Silm 2018).

Maaapealse ja maa-aluse biomassi suhe (*root to shoot ratio*) on kuuse mudelpuudel 0,21 ja männi mudelpuudel 0,22. Arvesse pole võetud peenjuuri, mis moodustavad hinnanguliselt 2-3% maa-alusest biomassist (Xiao *et al.* 2003; Brunner, Goldbold 2007). Varasemalt on leitud männikute aegrea uurimuses, et vanuse suurenedes maaapealse ja maa-aluse biomassi suhe väheneb (Helmisaari *et al.* 2002). Samas Eestis leitud 35-aastase männikus oli suhtarvuks 0,19 (Silm 2018). Suhtarvu erinevus võib tulla puistut mõjutavatest erinevatest faktoritest nagu vanus, kõrgus, rinnasdiameeter aga ka mulla lõimis ja tekstuur jne. (Laiho, Finér 1996; Snowdon *et al.* 2000). Eelnevalt uuritud

lehtpuu puistutes on leitud sarnaseid biomassi suhtarve: hall-lepikutes saadi suhtarvuks 0,19 (Uri *et al.* 2009) arukaasikutes saad 0,21 (Varik *et al.* 2013) ja sookaasikutes 0,28 (Uri *et al.* 2017), mis oli kõrgem suhtarv kuivenduse tõttu.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö eesmärk oli hinnata maa-alust ja maapealset biomassi jänesekapsa-
mustika kasvukohatüübis. Maa-pealse biomassi hindamiseks kasutati mudelpuude
meetodit, maa-aluse biomassi hindamiseks pesti mudelpuu juurestik tervikuna välja.
Uurimistöö andmed on koguti Järvelja Öppe- ja Katsemetskonna kvartalil JS120 eraldis
10 ja 13 piirile loodud katsealalt.

Töös uuritud puudel oli oodatult suurima osakaaluga maapealsest biomassist tüve
osakaal: männil 87% ja kuusel 83%. Väiksema osakaaluga oli mõlema puuliigi puhul
maapealsest biomassist okaste osakaal. Keskmise aastane juurdekasv (MAI) männil oli
 $0,01 \text{ m}^3$ ja kuusel $0,007 \text{ m}^3$. Maa-alune biomass oli kuusel 15-18% ja männil 16-19%
kogu biomassist. Suurima osakaalu maa-alusest biomassist moodustas kuusel üle 10 cm
läbimõõduga juured 31%, männil moodustas suurima osakaalu känd 41%. Maa-aluse ja
maapealse biomassi suhtarvuks leiti kuusel 0,21 ja männil 0,22.

Hariliku männi maapealse ja maa-aluse biomassi kohta koostatud regressioonivõrranditel
determinatsioonikordajad olid kõrged, mis näitavad tugevat seost rinnasdiameetri ja
biomassi vahel. Tugevale seose tõttu on üldistuste tegemine rinnasdiameetrist lähtuvalt
usaldusväärne, mida kinnitas saadud tulemus ($R^2 > 0,9$). Käesolev bakalaureusetöö on osa
KAUR'i poolt toetatud projektist „Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine“.
Kuna antud projekt ei ole veel lõppenud, siis bakalaureusetöös kasutatud mudelid on
lihtsustatud ning suuremate üldistuste tegemiseks kogutakse veel jätkuvalt andmeid.

Antud lõputöö tulemused on uudsed ja neid saab kasutada osana Eesti puistute biomassi
mudelite väljatöötamisel.

VIIDATUD ALLIKAD

- Aastaraamat mets 2017. (2018). /Toim. Raudsaar, M. Siimon, K. Valgepea, M. Keskkonnaagentuur. 53 lk.
- Aosaar, J., Mander, Ü., Varik, M., Becker, H., Morozov, G., Maddison, M., Uri, V.** (2016). Biomass production and nitrogen balance of naturally afforested silver birch (*Betula pendula* Roth) stand in Estonia. - *Silva Fennica*. Vol. 50, No. 4, pp. 1-19.
- Aosaar, J., Varik, M., Lõhmus, K., Ostonen, I., Becker, H., Uri, V.** (2013). Long-term study of above- and below-ground biomass production in relation to nitrogen and carbon accumulation dynamics in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on former agricultural land. – *European Journal of Forest Research*. Vol 132 (5-6), pp. 737–749.
- Bormann, B. T., Gordon, J. C.** (1984). Stand density effects in young red alder plantations: productivity, photosynthate partitioning and nitrogen fixation. – *Ecology*. Vol 65, pp. 394–402.
- Buht, M.** (2017). Süsiniku varu erineva vanusega mustika kasvukohatüübi männikute (*pinus sylvestris*) maapealses biomassis. Bakalaurusetöö. Eesti Maaülikool metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
- Brunner, I., Godbold, D. L.** (2007) Tree roots in changing world. – *Jornal of Forest Research*. Vol 12, pp. 78-82.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., Wisniewski, J.** (1994) Carbon pools and flux of global forest ecosystems. – *Science*. Nr. 263, pp. 185–190.
- EPA. (2018). Overview of greenhouse gases [veebileht] <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> (20.02.2019)
- Foley, J. A, De Fries, R., Asner, G. P.** (2005). Global consequences of land use. – *Science*. Nr 309, pp. 570-574.
- FRA. (2015). Global Forest Resources Assessments [veebileht] <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/current-assessment/en/> (04.02.2018)
- Helmisaari, H. S., Makkonen, K., Kellomäki, S., Valtonen, E., Mälkönen, E.** (2002). Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stand in eastern Finland. – *Forest Ecology Management*. Vol 165, pp. 317–326
- Houghton, J. T., Meira-Filho, L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kettenberg, A., Maskell, K.** (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Cambridge, England: Intergovern-mental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

- Kadak, M.** (2015). Jänsekapsa-kõdusoo kasvukohatüübi sookaasikute maapealne bioproduksioon. Magistritöö. Eesti Maaülikool metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
- Karu, H.** (2005). Süsiniku akumulatsioon Narva karjääri männikultuuride aegreast. Magistritöö. Tartu Ülikooli Botaanika ja ökoloogia instituut. Rakendusökoloogia õppetool. Tartu.
- Keskkonnaagentuur. (2012). Eesti riiklik kasvuhoonegaaside inventuur- LULUCF sektor [veebileht] <http://www.keskkonnainfo.ee/failid/LULUCF.pdf> (23.01.2018)
- Keskkonnaagentuur. (2017). Metsavarud [veebileht] https://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/01_metsavarud.pdf (22.03.19)
- Keskkonnaministeerium. (2017). Kyoto protokoll [veebileht] <http://www.envir.ee/et/kyoto-protokoll> (03.02.2018)
- Konopka, B., Pajtik, J., Šeben, V., Lukac, M.** (2011) Belowground biomass functions and expansion factors in high elevation Norway spruce. – *Forestry*, Vol. 84, No. 1, pp. 42–48.
- Krigul, T.** (1971). Metsataksaatori teatmik. Eesti Põllumajanduse Akadeemia. Tartu, 150 lk.
- Kurvits, V.** (1999) Puurinde produktsiooni määramine ja jaotus keskealises pohlamännikus. – *Metsanduslikud uurimused*. Nr 31, lk 84–89.
- Külla, T.** (1997). Keskealise männiku ja kuusiku maapealse ja maa-aluse osa struktuur. Eesti Põllumajandusülikool. Metsakasvatuse instituut. Tartu.
- Laas, E.** (2005). Okaspuud. Harilik mänd, lk 207-212. Harilik kuusk, lk 94-100.
- Laiho, R., Finér, L.** (1996). Changes in root biomass after water- level drawdown on pine mires in southern Finland. – *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol 11, pp. 251-260.
- Liu, C., Westman, C.J.** (2009). Biomass in Norway spruce - Scots pine forest: a comparison of estimation methods. – *Boreal Environment Research*. Vol. 14, pp. 875– 888.
- Lõhmus, E.** (2004). Eesti metsakasvukohatüübid. Jänsekapsa-mustika kasvukohatüüp, lk 43-45.
- Lõhmus, K., Lasn, R., Oja, T.** (1991). The influence of climatic and soil physical conditions on growth and morphology of Norway spruce roots. In: McMichael, B.L. and Persson H. (Eds.), *Plant roots and their environment*. Elsevier, Amsterdam, pp. 233-239.
- Lõhmus, K., Mander, Ü., Tullus, H., Keedus, K.** (1996). Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in Estonia. In: Perttu, K., Koppel, A. (eds.). *Short rotation willow coppice for renewable energy and improved environment*. Uppsala, pp. 95–105.
- Lõhmus, N.** (2018). Harvendusraie mõju puude jämeduskasvule ning süsinikuvarudele ja -voogudele palumännikus. Magistritöö. Eesti Maaülikool metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
- Roht, U.** (2013). 90 Tähtsamad okaspuud. Harilik kuusk, lk 123-132. Harilik mänd, lk 164-168.
- Saarman, E.** (2006). Puiduteadus. Puidu füüsikalised omadused, lk 65.

- Silm, D.** (2018). Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) maapealne ja maa-alune biomass ning sellesse seotud süsinikuvaru mustika kasvukohatüübis. Magistritöö. Eesti Maaülikool metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
- Snowdon, P., Eamus D., Gibbons P., Khanna, P., Keith, H., Raison, J., Kirschbaum, M.** (2000). Synthesis of Allometrics, Review of Root Biomass and Design of Future Woody Biomass Sampling Strategies (*NCAS Technical Report 17*). Australian Greenhouse Office, Canberra.
- Taimre, H.** (1989). Metsamajandamise alused. Harilik kuusk, lk 39 – 32. Harilik mänd, lk 37 – 39.
- Tullus, H.** (2011). Metsamajandus ja süsiniku sidumine- *Eesti Mets*. Nr 4, lk 41-49.
- Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Ligi, K., Padari, A., et al.** (2014). The Dynamics of biomass production, carbon and nitrogen accumulation in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) chronosequence stands in Estonia. *For. Ecol. Manage.* 327, 106–117.
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G., Karoles, K.** (2017). Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. – *Forest Ecology and Management*. Vol 399, pp. 82–93.
- Uri, V., Lõhmus, K., Kiviste, A., Aosaar, J.** (2009). The dynamics of biomass production in relation to foliar and root traits in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. – *Forestry*. Vol 82, pp. 61–74.
- Uri, V., Tullus, H., Lõhmus, K.** (2002). Biomass production and nutrient accumulation in shortrotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. – *Forest Ecology and Management*. Vol 161 (1–3), pp. 169–179.
- Uri, V., Varik, M., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumägi, M., Lõhmus, K.** (2012). Biomass production and carbon sequestration in a fertile Silver birch (*Betula pendula* Roth) forest chronosequence. – *Forest Ecology and Management*. Vol 267, pp. 117–126.
- Varik, M., Aosaar, J., Ostonen, I., Lõhmus, K. & Uri, V.** (2013). Carbon and nitrogen accumulation in belowground tree biomass in a chronosequence of silver birch stands. – *Forest Ecology and Management*. Vol 302, pp. 62–70.
- Varik, M., Kukumägi, M., Aosaar, J., Becker, H., Ostonen, I., Lõhmus, K., Uri, V.** (2015). Carbon budgets in fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) chronosequence stands. – *Ecological Engineering*. Vol. 77, pp. 284–296.
- Xiao, C. W., Yuste, J. C., Janssens, I. A., Roskams, P., Nactergale, L., Carrara, A., Sanchez, B. Y., Ceulmans, R.** (2003). Above- and belowground biomass and net primary production in a 73-years old scots pine forest. . – *Tree Physiology*. Vol 23, pp. 505–516.

LISAD

Lisa 1. Välitöö fotod





Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Rene Puhke,

Sünniaeg 16.08.94,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö „Hariliku männi (*Pinus sylvestris*) ja hariliku kuuse (*Picea abies*) maapealse ja maa-aluse biomassi võrdlus jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis“,

mille juhendaja on Hardo Becker,

salvestamiseks säilitamise eesmärgil, sh digiarhiivis DSpace säilitamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, _____

(kuupäev)

Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)